

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

SÉPTIMA REUNIÓN

La Jolla, California (EE.UU.)

09-13 de mayo de 2016

DOCUMENTO SAC-07-06a(ii)

EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE ORDENACIÓN (EEO) EXPLORATORIA DE DORADO (*CORYPHAENA HIPPURUS*) EN EL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL SUR

Juan L. Valero, Alexandre Aires-da-Silva, Mark N. Maunder, Carolina Minte-Vera, Jimmy Martínez-Ortiz, Edgar J. Torrejón-Magallanes, y Miguel N. Carranza

ÍNDICE

Resumen ejecutivo	2
1. Introducción.....	2
2. Métodos.....	4
2.1. Modelos operativos	4
2.2. Condicionamiento.....	4
2.3. Proyecciones.....	5
2.4. Estrategias de extracción	5
2.5. Corridas de modelo retrospectivas bajo escenarios alternativos.....	6
2.6. Evaluación.....	6
2.7. Rendimiento por recluta (RPR) y cociente de biomasa reproductora (SBR)	7
3. Resultados.....	7
3.1. Vedas estacionales basadas en fechas alternativas de apertura y cierre	7
3.2. Límites de talla y mortalidad de descartes.....	7
3.3. Ejecuciones retrospectivas del modelo bajo escenarios alternativos	7
3.4. Rendimiento por recluta (RPR) y cociente de biomasa reproductora (SBR)	8
4. Discusión.....	8
5. Direcciones futuras	8
Reconocimientos	9
Referencias	9

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente estudio desarrollamos una evaluación de estrategias de ordenación (EEO) para el dorado (*Coryphaena hippurus*) en el Océano Pacífico oriental (OPO) sur. EEO es un marco usado para evaluar los procedimientos de ordenación. Un procedimiento de ordenación es un conjunto de reglas de decisión preacordadas que especifican cuáles datos han de obtenerse y cómo se usarán para fijar capturas, o determinar controles de entrada tales como esfuerzo de pesca permisible o temporadas de pesca. Típicamente se realiza una evaluación de procedimientos alternativos de ordenación mediante la comparación de estadísticas de desempeño que reflejan objetivos de ordenación y los intereses de administradores, usuarios del recurso, y científicos. Condicionamos el modelo operativo a todos los datos disponibles usados en la evaluación exploratoria actual del dorado, que abarca el periodo de 2007-2014, usando la plataforma de modelado *Stock Synthesis*. Proyectamos dinámicas poblacional y pesquera para 2015-2019 usando diferentes estrategias y escenarios de extracción, límites de talla mínima del dorado en la captura, y tasas de mortalidad de descartes. Las estrategias alternativas de extracción fueron también evaluadas retrospectivamente. Se realizaron análisis de rendimiento por recluta (RPR) para describir el RPR y el cociente de biomasa reproductora (*spawning biomass ratio*, SBR) esperados como función de edad de ingreso a la pesquería y mortalidad por pesca anual. Presentamos el balance entre el SBR y el rendimiento para estrategias basadas en diferentes fechas de apertura y cierre de la temporada de pesca, así como también límites de talla mínima de captura con distintos supuestos sobre las tasas de mortalidad de peces pequeños descartados. Descubrimos que diferentes aperturas y cierres de la temporada de pesca ejercen efectos generales similares sobre el SBR y el rendimiento total, pero fechas posteriores de apertura incrementan el SBR sin reducciones marcadas del rendimiento esperado, mientras que cierres más tempranos incrementan el SBR pero a costo de una reducción de la captura. Los análisis de RPR indican que la edad de ingreso que produciría el RPR máximo es alrededor de 10 meses, con base en las mortalidades por pesca anuales estimadas por la evaluación. Eso significaría que aperturas alrededor de octubre-noviembre serían consistentes con las consideraciones de RPR. La edad de ingreso consistente con un RPR máximo sería mayor con mortalidades por pesca mayores que aquellas estimadas por la evaluación. Se espera que el SBR aumente con límites de talla mínima de captura, mientras que se espera que el rendimiento aumente con mortalidad por descarte nula o moderada y disminuya con tasas de mortalidad por descarte mayores. Suponiendo una mortalidad por descarte moderada, se espera que límites de talla mínima mayores resulten en un SBR mayor, pero a costo de una reducción del rendimiento.

El presente estudio exploratorio no pretende ser de ninguna manera una EEO final para usar para la ordenación del dorado; es más bien el primer paso en un proceso de evaluación de la utilidad de las EEO para el dorado. La intención es fomentar la colaboración entre todas las partes interesadas a fin de continuar la elaboración de este marco para el dorado y, si resulta ser útil y apropiado, considerar su utilidad para determinar el resultado potencial de decisiones alternativas.

1. INTRODUCCIÓN

Existen varios enfoques a la provisión de asesoramiento científico para la ordenación pesquera. Un enfoque se basa en evaluaciones de la condición de las poblaciones, y depende de un ciclo de evaluación regular (generalmente anual), la determinación de las "mejores" estimaciones de biomasa, y el cálculo de cuotas basadas en una tasa de extracción objetivo predeterminada. Las tasas de extracción objetivo pueden ser calculadas de diferentes formas, según los objetivos específicos de la ordenación; por ejemplo, maximizar el rendimiento (basado en el rendimiento máximo sostenible (RMS)), minimizar el riesgo a la población, y ajustar por poblaciones fluctuantes. El énfasis histórico temprano en RMS y tasas objetivo óptimas se ha transformado en un marco de reglas de control de extracción que incluyen puntos de referencia objetivo y límite, y las tasas de extracción objetivo asociadas (Mace y Sissenwine 2002). Este cambio ha sido motivado por una transición hacia un enfoque precautorio a la ordenación pesquera (FAO 1996), y por la comprensión de la incertidumbre asociada a los errores en los modelos de evaluación, la

incertidumbre en torno a los puntos de referencia, y los errores de implementación, y su impacto combinado sobre la capacidad de gestionar las pesquerías con éxito. Un enfoque alternativo, a menudo complementario, toma en cuenta un mayor espectro de las incertidumbres pertinentes usando "políticas de control de retroalimentación" (*feedback control policies*; Mace y Sissenwine 2002). Ha sido denominado "sistema de control pesquero" (Hilborn 1979), "procedimiento de ordenación revisado" (IWC 1994), "sistema para evaluar estrategias de ordenación" (ICES 1994), "simulación de procedimientos de ordenación" (ICCAT 2000), "enfoque de procedimiento de ordenación" (Butterworth 2007), y "evaluación de estrategias de ordenación", o EEO (Smith 1994, Smith *et al.* 1996, Polacheck *et al.* 1999, De Oliveira *et al.* 2008, Butterworth *et al.* 2010), pero el sentido es similar: un marco para evaluar procedimientos de ordenación. Un procedimiento de ordenación (Butterworth *et al.* 1997) es un conjunto de reglas de decisión preacordadas que especifican los datos que se han de obtener y cómo se han de usar para fijar una captura total permisible (CTP) o determinar controles de insumo tales como el esfuerzo de pesca permisible. Típicamente se realiza una evaluación de procedimientos alternativos de ordenación mediante la comparación de estadísticas de desempeño que reflejan objetivos de ordenación con los intereses de administradores, usuarios del recurso, y científicos (Butterworth y Punt 1999; Parma 2002). En lugar de enfocarse en optimalidad y mejores estimaciones (como en el enfoque basado en evaluaciones), los objetivos generales de la EEO son evaluar alternativas de ordenación bajo diferentes escenarios biológicos, y determinar aquellos que son robustos a la incertidumbre asociada y producen resultados razonables. El personal de la CIAT ha realizado trabajos exploratorios de EEO con fines investigativos para los atunes aleta azul del Pacífico (Maunder 2014) y patudo (Maunder *et al.* 2015).

El dorado (*Coryphaena hippurus*) es una de las especies más importantes capturadas por las pesquerías artesanales latinoamericanas en el Océano Pacífico oriental (OPO). En Perú, por ejemplo, se estima que las capturas en los últimos años fueron en promedio unas 50,000 toneladas (t), consumidas mayormente en el territorio nacional. En Ecuador, el dorado constituye más del 65% de las descargas estimadas de la pesquería artesanal de grandes peces pelágicos y del 35 a 40% de las exportaciones de peces pelágicos. La especie es también capturada, como objetivo o incidentalmente, en otras pesquerías en todos los Estados latinoamericanos ribereños del Pacífico. Es por lo tanto importante dar seguimiento a la condición de la población de dorado y evaluar estrategias alternativas de ordenación, a fin de establecer las bases para la orientación de una ordenación sostenible de la pesquería de la especie en el OPO.

En Perú y Ecuador las pesquerías de dorado se administran mediante una combinación de tallas mínimas límite y vedas estacionales. Concretamente, el tamaño legal mínimo es 70 cm de talla furcal (con una tolerancia de 10%) en Perú y 80 cm de talla total en Ecuador, y las fechas de apertura y cierre de la pesquería son el 30 de septiembre y 1 de mayo en Perú (desde 2014), y el 7 de octubre y 1 de julio en Ecuador (desde 2011) (IATTC 2015). El objetivo de estos reglamentos es mejorar el rendimiento, y asegurar que quede suficiente biomasa reproductora para perpetuar la población, particularmente si las evaluaciones son inciertas y se ignora la forma de la relación población-reclutamiento.

A solicitud de algunos Miembros ribereños del OPO, el personal de la CIAT inició un trabajo colaborativo sobre metodologías de evaluación de poblaciones del dorado (Aires-da-Silva *et al.* 2014). En la primera reunión técnica de la CIAT sobre el dorado, celebrada en Manta (Ecuador) en octubre de 2014, se identificó una cantidad grande y diversa de datos biológicos y de las pesquerías para el dorado disponible de Estados Miembros de la CIAT. Además, los esfuerzos colaborativos entre miembros del programa de evaluación de poblaciones de la CIAT y científicos ecuatorianos produjeron un trabajo que describe las pesquerías artesanales ecuatorianas en detalle, con énfasis en el dorado y atunes-picudos-tiburones (Martínez-Ortiz *et al.* 2015). Más recientemente, en octubre de 2015 se celebró en Lima (Perú) una segunda reunión técnica sobre el dorado, con los objetivos principales de discutir los supuestos acerca de la estructura poblacional del dorado e indicadores para dar seguimiento a la condición de la especie en el OPO. Un resultado importante de esta segunda reunión fue un modelo preliminar de evaluación para el

dorado, que usa *Stock Synthesis* (SS) (Methot y Wetzel 2013). Los datos de pesquerías y biológicos usados en ese modelo fueron actualizados con los mejores datos disponibles de Perú y Ecuador, los dos países con las pesquerías más importantes; el modelo mejorado resultante fue usado para realizar una evaluación completa de la población de dorado (Aires-da-Silva *et al.* 2016).

En el presente estudio desarrollamos una EEO exploratoria para el dorado en el OPO. No pretende ser de ninguna manera una EEO final para usar en la ordenación del dorado; es más bien el primer paso en un proceso de evaluación de la utilidad de las EEO para el dorado. La intención es fomentar la colaboración entre todas las partes interesadas a fin de continuar la elaboración de este marco para el dorado y, si resulta ser útil y apropiado, considerar su utilidad para determinar el resultado potencial de decisiones alternativas.

2. MÉTODOS

Los puntos de referencia (PR), las reglas de control de extracción (RCE), y las evaluaciones de estrategias de ordenación (EEO) se están convirtiendo en herramientas importantes para la ordenación pesquera. Se está promoviendo ampliamente su uso para la ordenación de una variedad de poblaciones, ya sea con abundancia o escasez de datos. Una EEO puede brindar un marco formal para la evaluación del desempeño de una estrategia actual de extracción con distintos tipos y niveles de incertidumbre. Puede también ser usada para evaluar diferentes procedimientos de ordenación que podrían ser considerados como alternativas al enfoque actual de ordenación. Las decisiones relativas a la selección y evaluación de estrategias alternativas son informadas por pruebas de los candidatos alternativos contra una serie de indicadores de desempeño que reflejan objetivos de ordenación. Uno de los componentes más importantes del proceso de EEO es la construcción de modelos de simulación, denominados modelos operativos, que describen escenarios potenciales pasados y futuros para la dinámica de la población o la pesquería e incluyen incertidumbres clave. Otros componentes del método de EEO son un módulo de condicionamiento, un módulo de proyección, y un modelo de evaluación, ilustrados en la Figura 1 y descritos a continuación.

2.1. Modelos operativos

El objetivo de los modelos operativos es describir la dinámica poblacional y pesquera bajo diferentes hipótesis y formulaciones del modelo para capturar la incertidumbre real (estadística y estructural). El modelo desarrollado en *Stock Synthesis* (Aires-da-Silva *et al.* 2016) después de la segunda reunión sobre el dorado fue usado como base para el modelo operativo para probar las diferentes estrategias de extracción.

2.2. Condicionamiento

El objetivo del componente de condicionamiento es condicionar los modelos operativos a los datos históricos disponibles a fin de hacerlos consistentes con la dinámica histórica de la población. Es importante señalar que condicionar los modelos operativos no es lo mismo que realizar una evaluación completa de la población. El objetivo del componente de condicionamiento no es llegar a una evaluación óptima de la población, sino asegurar que los modelos operativos sean consistentes con los datos históricos. Esto es una distinción importante, ya que los modelos operativos a menudo incluyen procesos para los cuales no se dispone de los datos necesarios para realizar un ajuste. Por ejemplo, los modelos operativos podrían enfocarse en los potenciales impactos climáticos sobre el crecimiento individual o los efectos de la temperatura superficial del mar sobre la CPUE. Aún si no se dispone de los datos necesarios para una descripción definitiva y ajustes al proceso, sigue siendo deseable contar con modelos operativos que incorporen un efecto de este tipo de una forma que sea consistente con los datos históricos de la dinámica de la población. En otros proyectos actuales de EEO en la comunidad pesquera, se realizó el condicionamiento de los modelos operativos usando diferentes enfoques, incluyendo evaluaciones recientes de poblaciones, todos los datos disponibles, y opinión experta. La selección del tipo de

condicionamiento depende de la hipótesis y el enfoque del modelo operativo y los datos al cual será condicionado el modelo. En el presente estudio condicionamos el modelo operativo a todos los datos disponibles usados en la evaluación exploratoria actual del dorado en *Stock Synthesis* (Aires-da-Silva *et al.* 2016), que abarca el periodo de 2007-2014.

2.3. Proyecciones

El objetivo del componente de proyección es recrear todos los pasos del ciclo anual de ordenación (Figura 1). Esto incluye la forma de extraer las capturas de los modelos operativos condicionados (arriba descrito), cuáles datos recolectar, cómo usar los datos para determinar la condición y tendencias de la población, cómo estimar las capturas del año siguiente, y cualquier otra acción de ordenación pertinente. Para los fines de evaluación, se repite este proceso no sólo para varios años durante un periodo determinado de proyección, sino también muchas veces para incorporar distintos tipos de incertidumbre en el proceso. Usamos un enfoque de modelado basado en trabajo realizado previamente por Maunder (2014) y Maunder *et al.* (2015) para investigaciones de EEO de los atunes aleta azul del Pacífico y patudo. El procedimiento usa muestras de la distribución posterior de una aplicación bayesiana de *Stock Synthesis* que usa métodos de simulación Monte Carlo con cadena de Markov (MCMC) para representar posibles estados de naturaleza, pero tomando en cuenta la incertidumbre en los parámetros del modelo operativo. Se desarrolló código R para comunicar entre el modelo operativo basado en *Stock Synthesis* y la estrategia de extracción bajo evaluación. El periodo de proyección fue 2015-2019, y para cada escenario se usaron 300 muestras posteriores MCMC.

2.4. Estrategias de extracción

Se realizaron las proyecciones bajo estrategias y escenarios alternativos de extracción, incluyendo varias fechas y duraciones de las vedas de las pesquerías, límites de talla del dorado en la captura, y tasas de mortalidad de descartes.

2.4.1. Vedas estacionales basadas en fechas alternativas de apertura y cierre

En el presente estudio se usaron los 12 escenarios en la tabla siguiente e ilustrados en la Figura 2, basados en diferentes meses de apertura y cierre y duraciones de las vedas resultantes. Son aplicables a las pesquerías peruanas y ecuatorianas solamente; la mortalidad por pesca asociada a extracciones por captura incidental en las pesquerías de cerco no es modificada por las vedas. No se consideran límites de talla; sin embargo, las selectividades estimadas en la evaluación para el periodo histórico corresponden a la época cuando se estaban implementando por primera vez los límites de talla, por lo que las selectividades estimadas reflejan en parte su implementación. Se fijan todas las mortalidades por pesca mensuales en las estimaciones mensuales promedio de la evaluación de la población durante 2007-2014 excepto *SinPesca*, donde las mortalidades se fijan a cero.

	Nombre	Apertura	Cierre	Sin pesca (veda)
1.	<i>Base</i>	-	-	-
2.	<i>SinPesca</i>	-	-	-
3.	<i>Enero</i>	-	Enero	Enero - abril
4.	<i>Febrero</i>	-	Febrero	Febrero - abril
5.	<i>Marzo</i>	-	Marzo	Marzo - abril
6.	<i>Abril</i>	-	Abril	Abril
7.	<i>Julio</i>	Agosto	-	Julio
8.	<i>Agosto</i>	Septiembre	-	Julio-agosto
9.	<i>Septiembre</i>	Octubre	-	Julio-septiembre
10.	<i>Octubre</i>	Noviembre	-	Julio-octubre

11.	<i>Noviembre</i>	Diciembre	-	Julio-noviembre
12.	<i>Diciembre</i>	Enero	-	Julio-diciembre

2.4.2. Límites de talla y mortalidad de descartes

En la presente sección describimos cómo incorporamos adicionalmente el efecto de los límites de talla mediante la implementación de curvas de retención y mortalidad de descartes. La curva de retención correspondiente a cada límite de talla fue computada en *Stock Synthesis* a partir de las selectividades estimadas en la evaluación (Figura 4). Suponemos que todos los dorados de talla inferior al límite son descartados. Los valores de mortalidad de descartes son elegidos con fines ilustrativos solamente, y variaron de 0 (ninguna mortalidad de descartes) a 0.5 (50% de los dorados descartados de talla inferior al límite muere).

Se realizaron proyecciones con las siguientes combinaciones de tallas mínimas límite, en centímetros de talla furcal, y mortalidad de descartes. En todos los casos se fijó la mortalidad por pesca mensual en las estimaciones mensuales medias de la evaluación de la población durante 2007-2014.

	Límite de talla (cm)	Mortalidad de descartes
1.	70	0.0
2.	80	0.0
3.	90	0.0
4.	100	0.0
5.	80	0.1
6.	80	0.3
7.	80	0.5

2.5. Corridas de modelo retrospectivas bajo escenarios alternativos

Se realizó un análisis retrospectivo para determinar el impacto potencial de los de tallas mínimas límite y las vedas estacionales. Con fines ilustrativos seleccionamos los límites de talla y las vedas estacionales que señalaron beneficios potenciales para la población con base en análisis de rendimiento por recluta. El análisis retrospectivo fue realizado con el modelo *Stock Synthesis*, lo cual hace el análisis consistente con los supuestos de la evaluación de la población. Para implementar el análisis retrospectivo, primero se ejecutó el modelo de nuevo usando las mortalidades por pesca como parámetros, y se verificó que los resultados fueran iguales a aquellos obtenidos con el enfoque híbrido (un método eficaz de resolver la ecuación de captura en *Stock Synthesis*; ver Methot y Wetzel 2013) para implementar la mortalidad por pesca. El uso de mortalidad por pesca como parámetro permite fijar las tasas de mortalidad por pesca para el análisis retrospectivo, y cambiarlo para implementar el límite de talla mediante una curva de retención de filo de cuchillo; similarmente, se puede manipular las vedas estacionales al cambiar la mortalidad por pesca a cero para los meses de veda. Investigamos un límite de talla de 90 cm con una tasa de mortalidad de 30% para los dorados descartados, seleccionado arbitrariamente para fines ilustrativos solamente. Investigamos aplazar el inicio de la temporada mediante una veda de la pesquería durante julio-enero.

2.6. Evaluación

El componente de evaluación resume los resultados de simulaciones basadas en indicadores de desempeño para distintas estrategias de ordenación. Los indicadores de desempeño reflejan los objetivos de la ordenación, y son instrumentales en la evaluación y comparación de estrategias alternativas. Los indicadores comunes incluyen mediciones del rendimiento, riesgo de conservación, estabilidad, y otros. Se podrían identificar indicadores de desempeño específicos adicionales mediante consultas con interesados involucrados en el proceso. Para el presente

estudio usamos captura total durante los años proyectados (2015-2019) y el cociente de biomasa reproductora (SBR; el cociente de la biomasa reproductora en ese momento y aquella de la población no explotada) para el último año de la proyección (2019).

2.7. Rendimiento por recluta (RPR) y cociente de biomasa reproductora (SBR)

Se realizó un análisis sencillo de RPR para describir los RPR y SBR esperados como función de la edad de ingreso a la pesquería y la mortalidad por pesca anual. Usamos los parámetros de población (por ejemplo, crecimiento, mortalidad natural, madurez) y de pesca (por ejemplo, selectividad) usados por Aires-da-Silva *et al.* (2016) en la evaluación de la población de dorado.

3. RESULTADOS

3.1. Vedas estacionales basadas en fechas alternativas de apertura y cierre

Los resultados de los análisis presentados en este informe son preliminares. En el escenario *Base*, que representa la estrategia implícita aplicada durante el periodo de la evaluación (2007-2014), usado para condicionar el modelo operativo, la biomasa reproductora y SBR proyectados (2015-2019) permanecen en niveles comparables con aquellos estimados antes del periodo de proyección (Figura 5). En el escenario *SinPesca*, se predice que la población aumentará rápidamente, y terminará cerca de su biomasa no explotada (SBR = 0.95) al fin del periodo de proyección (Figura 5). Sin embargo, las proyecciones tienen una incertidumbre alta, debido a incertidumbre en los parámetros usados para condicionar el modelo y en los niveles de reclutamiento proyectados. Los SBR proyectados tienen un nivel de incertidumbre menor que las biomásas reproductoras proyectadas (Figura 5). Vedas estacionales durante enero-abril resultan en trayectorias intermedias entre los escenarios *SinPesca* y *Base* (Figura 5).

Las vedas alternativas de las pesquerías ejercen efectos generales similares sobre el SBR y el rendimiento total en 2019, el último año de la proyección (Figura 6). Sin embargo, abrir la pesquería más tarde que en el escenario *Base* aumenta el SBR terminal proyectado sin reducciones marcadas del rendimiento esperado comparado con el escenario *Base* (Figura 6, panel derecho), mientras que cierres más tempranos incrementan el SBR pero a costo de una captura esperada reducida (Figura 6, panel izquierdo).

3.2. Límites de talla y mortalidad de descartes

Un límite de talla mínima de 80 cm de talla furcal con mortalidad de descartes de entre 0 (ninguna mortalidad de descarte) y 0.5 (50% mortalidad de descartes) resultó en SBR mayores que en el escenario *Base* (Figura 7, panel izquierdo). Se espera que el rendimiento aumente ligeramente con un límite de talla de 80 cm; sin embargo, se espera que disminuya con una mortalidad de descartes de 30% o más (Figura 7, panel izquierdo). Suponiendo una mortalidad de descartes de 30%, se espera que incrementar el límite de talla de 70 cm to 100 cm incremente el SBR relativo al escenario *Base*, pero a expensas del rendimiento (Figura 7, panel derecho).

3.3. Ejecuciones retrospectivas del modelo bajo escenarios alternativos

Las vedas ejercen un impacto mucho mayor que los límites de talla sobre tanto las capturas como la biomasa, reduciendo el primero e incrementando el segundo (Figura 9). Eliminan la captura en los meses en que están en vigor, pero luego resultan en capturas mayores en los meses abiertos a la pesquería. Durante el periodo entero de la evaluación, la pérdida de captura es de 34% para la veda y 16% para los límites de talla, pero para el año final del análisis la pérdida de captura debido a la veda es solamente 11%, aproximadamente igual que los límites de talla (12%). Cabe destacar que la biomasa asociada a la veda comienza en aproximadamente el mismo nivel que en el escenario *Base*, pero la biomasa asociada a los límites de talla comienza en un nivel más alto porque son implementados en las condiciones iniciales, a diferencia de la veda. Esto es consecuencia de la formulación de *Stock Synthesis*, y son necesarias

investigaciones adicionales.

3.4. Rendimiento por recluta (RPR) y cociente de biomasa reproductora (SBR)

La curva de rendimiento es muy plana con mortalidades por pesca (F) altas, y por lo tanto el RPR sigue aumentando con aumentos de F (Figura 9). Por otro lado, se logra el RPR máximo con una edad de reclutamiento a la pesquería de aproximadamente 10 u 11 meses con las F anuales (F mediana = 0.8, rango 0.5-0.9) estimadas por el modelo de evaluación de poblaciones.

4. DISCUSIÓN

Este trabajo debe ser considerado una primera evaluación exploratoria de estrategias alternativas para el dorado en el OPO. Aunque los resultados son informativos con respecto al efecto esperado de estrategias alternativas sobre métricas de interés, es necesario trabajo adicional para poder comparar adecuadamente estrategias alternativas adicionales relativas a métricas de interés adicionales, y bajo una amplia gama de incertidumbres del modelo. Hemos demostrado el balance entre el SBR y el rendimiento para estrategias basadas en diferentes fechas de apertura y cierre y duraciones de veda y en diferentes límites de talla mínima con varias tasas de mortalidad de descartes supuestas para dorado de talla menor a la mínima legal. Los resultados preliminares sugieren que, sin límites de talla, abrir la pesquería más tarde que en el escenario *Base* incrementaría el SBR pero tendría poco efecto sobre el rendimiento, a menos que la pesquería abriera después de noviembre, en cual caso el rendimiento disminuye. Diferentes fechas de apertura afectan la edad a la cual el dorado ingresa a la pesquería. Los análisis de RPR indican que, con las mortalidades por pesca anuales estimadas por la evaluación, la edad de ingreso que maximizaría el RPR es alrededor de 10 meses. Nuestro modelo supone que el dorado es reclutado en diciembre y enero, a edad 0, lo cual significa que abrir la pesquería alrededor de octubre-noviembre sería consistente con consideraciones de RPR. La edad de ingreso consistente con un RPR máximo sería más alta, con mortalidades por pesca más altas que aquellas estimadas por la evaluación.

Se espera que el SBR aumente con límites de talla mínima, mientras que se espera que el rendimiento aumente con mortalidad de descartes nula o moderada y disminuya con mortalidades de descartes más altas. Suponiendo una mortalidad de descartes moderada, incrementar el límite de talla mínima incrementaría el SBR, pero a costo de rendimiento reducido. Esto se debe a que se fijaron el patrón y nivel de mortalidad por pesca en aquellos de la evaluación de la población, que supone ningún límite de talla mínima; en otras palabras, con un límite de talla mínima, la mortalidad por pesca tendría que ser más alta que lo estimado por la evaluación de la población para que las capturas sean comparables con aquellas observadas en la historia reciente.

5. DIRECCIONES FUTURAS

Los temas siguientes deberían ser prioritarios en investigaciones futuras de EEO para el dorado:

1. Se deberían identificar candidatos adicionales para los diferentes componentes de las estrategias de ordenación (por ejemplo, datos, método de evaluación, regla de control de extracción, puntos de referencia) y las medidas de desempeño para evaluar esas estrategias (por ejemplo, SBR, captura total, captura promedio, tamaño del dorado en la captura).
2. Se deberían explorar opciones adicionales de estrategia de extracción. Los candidatos incluyen umbrales de CPUE (en unidades absolutas o relativas a, por ejemplo, la CPUE al principio de la temporada) que activarían acciones de ordenación. Estas estrategias podrían usar una CPUE de referencia que activa una reducción del esfuerzo, y una CPUE límite que cierra la pesquería. Estrategias estacionales dinámicas podrían basarse en cuándo ocurre el reclutamiento, el crecimiento esperado, y la época del año en la que se espera que la cohorte reclutada maximice el RPR. Se podrían evaluar otras alternativas que resulten de las discusiones de los participantes en el proyecto.

3. No se han implementado en las pesquerías de dorado en el OPO puntos de referencia, ya sea objetivo, umbral, o límite. Los puntos de referencia basados en RMS parecen ser problemáticos en vista de la relación plana entre la mortalidad por pesca y el rendimiento. Otra alternativa sería puntos de referencia basados en SBR. Una vez definidos los puntos de referencia, una EEO es una herramienta valiosa para evaluar diferentes estrategias de extracción y su desempeño esperado relativo a los puntos de referencia seleccionados.
4. Se deberían incorporar dinámicas alternativas en el modelo operativo. En vista de la incertidumbre en la magnitud de la disponibilidad o el reclutamiento, observada en las diferencias interanuales en la CPUE al principio de cada temporada de pesca, se deberían usar modelos operativos alternativos para describir varios niveles diferentes de estos procesos. Se ha propuesto una relación entre la temperatura superficial del mar y la CPUE de dorado; se podrían usar en la EEO modelos operativos y/o procedimientos de ordenación que incorporen este proceso. El modelo operativo actual representa la incertidumbre en los parámetros de la evaluación de la población. Se debería considerar también la incertidumbre adicional en los parámetros fijos en el modelo de evaluación (por ejemplo, mortalidad natural, relación población-reclutamiento, y crecimiento).

RECONOCIMIENTOS

Muchos miembros del personal de la CIAT y de países miembros proporcionaron datos y participaron en las discusiones que posibilitaron la evaluación del dorado, que sirvió como primer paso en la presente EEO exploratoria. Los autores agradecen a los participantes en la segunda Reunión Técnica sobre Dorado en 2015 la discusión y las contribuciones sobre posibles estrategias alternativas. El Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) financió parcialmente a Juan Valero para realizar este trabajo.

REFERENCIAS

- Aires-da-Silva, A., Lennert-Cody, C.E., Maunder, M.N., Roman-Verdesoto, M., Minte-Vera, C., Vogel, N.W., Martinez-Ortiz, J., Carvajal, J.C., Guerrero, P.X. and Sondheimer, F. (2014). Preliminary results from IATTC collaborative research activities on dorado in the eastern Pacific Ocean and future research plan. Document SAC-05-11b. Inter-American Tropical Tuna Commission, Fifth Meeting of the Scientific Advisory Committee. La Jolla, California, USA, 12-16 May 2014.
- Aires-da-Silva, A., Valero, J.L., Maunder, M.N., Minte-Vera, C., Lennert-Cody, Roman, M. H., Martinez-Ortiz, J., Torrejón-Magallanes, E.J., and Carranza, M.N. (2016). Exploratory Stock Assessment of Dorado (*Coryphaena hippurus*) in the South Eastern Pacific Ocean in 2015. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., 7th Scient. Adv. Com. Meeting. SAC-07-06a(i).
- Butterworth, D. S., Cochrane, K. L. and De Oliveira, J. A. A. (1997). Management procedures: a better way to manage fisheries? The South African experience. In Pikitch, E. K., Huppert, D. D. and Sissenwine, M. P., eds. Global Trends: Fisheries Management (Proceedings of the Symposium held at Seattle, Washington, 14 - 16 June, 1994). Am. Fish. Soc. Symp. 20, 83-90.
- Butterworth, D. S. and Punt, A.E. (1999). Experiences in the evaluation and implementation of management procedures. ICES J. Mar. Sc. 56:985-998.
- Butterworth, D. S. (2007). Why a management procedure approach? Some positives and negatives. ICES Journal of Marine Science, 64: 613–617.
- Butterworth, D. S., Bentley, N., De Oliveira, J. A. A., Donovan, G. P., Kell, L. T., Parma, A. M., Punt, A. E., Sainsbury, K, Smith, A. D. M. and Stokes, T. K. (2010). Purported flaws in management strategy evaluation: basic problems or misinterpretation? ICES Journal of Marine Science, 67: 567–574.
- De Oliveira, J. A. A., Kell, L. T., Punt, A. E., Roel, B. A., and Butterworth, D. S. (2008). Managing without best predictions: the management strategy evaluation framework. In Advances in Fisheries Science.

- 50 Years on from Beverton and Holt, pp. 104–134. Ed. by A. Payne, J. Cotter, and T. Potter. Blackwell Publishing, Oxford. xxi þ 546 pp.
- FAO. (1996). Precautionary approach to capture fisheries and species introductions. Elaborated by the Technical Consultation on the Precautionary Approach to Capture Fisheries (Including Species Introductions). Lysekil, Sweden, 6-13 June 1995. Published as FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries No. 2. Food and Agriculture Organization of the United Nations , Rome, Italy.
- Hilborn, R. (1979). Comparison of fisheries control systems that utilize catch and effort data. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 36:1477-1489.
- IATTC (2015). Report of the 1st Inter-American Tropical Tuna Commission Technical Meeting on Dorado. Manta, Ecuador, October 14–16, 2014. Available at: <http://www.iattc.org/Meetings/Meetings2014/OCTDorado/1stTechnicalMeetingDoradoENG.htm>
- ICCAT. (2000). Report of the meeting of the ICCAT ad hoc working group on the precautionary approach (Dublin, Ireland, 17-21 May.) 1999. ICC AT Collective Volume of Scientific Papers 51 : 1941 -2057.
- ICES. 1994. Report of the working group on long term management measures. ICES CM 1994/ Assess: II.
- Kolody, D. and Angannuzzi, A. (2010). Management Strategy Evaluation as a tool to assist the IOTC in meeting its management objectives. Indian Ocean Tuna Commission Working Party on Billfish Working Paper.
- Mace, P. M., and Sissenwine, M. P. (2002). Coping with uncertainty: evolution of the relationship between science and management. In: *Incorporating Uncertainty into Fisheries Models*. American Fisheries Society Symposium, 27, pp. 9-28. Ed. by J. M. Berkson, L. L. Kline, and D. J. Orth. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Martinez-Ortiz, J., Aires-da-Silva, A.M., Lennert-Cody, C.E. and Maunder M.N. (2015). The Ecuadorian artisanal fishery for large pelagics: species composition and spatio-temporal dynamics. *PLoS ONE* 10(8): e0135136. doi:10.1371/journal.pone.0135136
- Maunder, M. N. (2014). Management strategy evaluation (MSE) implementation in stock synthesis: Application to Pacific bluefin tuna. IATTC Stock Assessment Report 15: 100-117.
- Maunder, M. N., Zhu, J. and Aires-da-Silva, A. (2015). Preliminary management strategy evaluation to evaluate the IATTC interim reference points and proposed harvest control rule. IATTC Document SAC-06-10b. <http://www.iattc.org/Meetings/Meetings2015/6SAC/PDFs/SAC-06-10b-Preliminary-MSE.pdf>
- Methot, R. D., and Wetzell, C. (2013). Stock Synthesis: a biological and statistical framework for fish stock assessment 557 and fishery management. *Fisheries Research*, 142: 86–99.
- Parma, A. M. (2002). In search of robust harvest rules for Pacific halibut in the face of uncertain assessments and decadal changes in productivity. *Bulletin of Marine Science* 70: 423-453.
- Polacheck, T., Klaer, N. L., Millar, C. and Preece, A. L. 1999. An initial evaluation of management strategies for the southern bluefin tuna fishery. *ICES Journal of Marine Science* 56:81 1- 826.
- Smith, A. D. M. (1994). Management strategy evaluation: The light on the hill. In: D.A. Hancock (ed.), *Population dynamics for fisheries management*. Australian Society for Fish Biology, Perth, Western Australia, pp. 249-253.
- Smith, A. D. M., Punt, A. E., Wayte, S. E. and Klaer, N. L. (1996). Evaluation of harvest strategies for eastern gemfish (*Rexea solandri*) using Monte Carlo simulation. Pages 120--164 in A. D.M. Smith, editor. *Evaluation of harvesting strategies for Australian fisheries at different levels of risk from economic collapse*. Fisheries Research and Development Corporation Report T93/238, Australia.

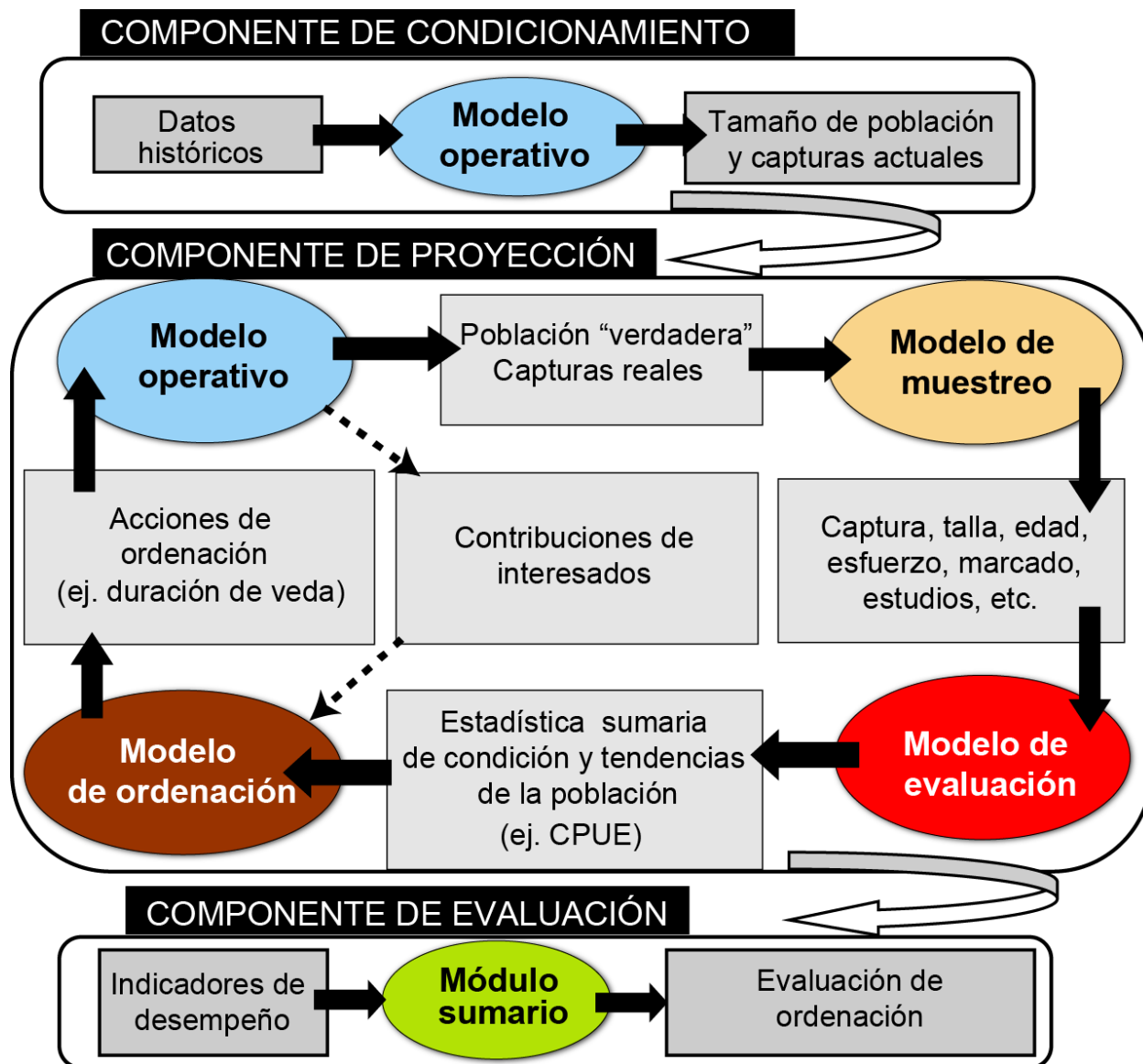


FIGURE 1. Schematic of the main components of a Management Strategy Evaluation (MSE).

FIGURA 1. Diagrama esquemático de los componentes principales de una Evaluación de Esquemas de Ordenación (EEO).

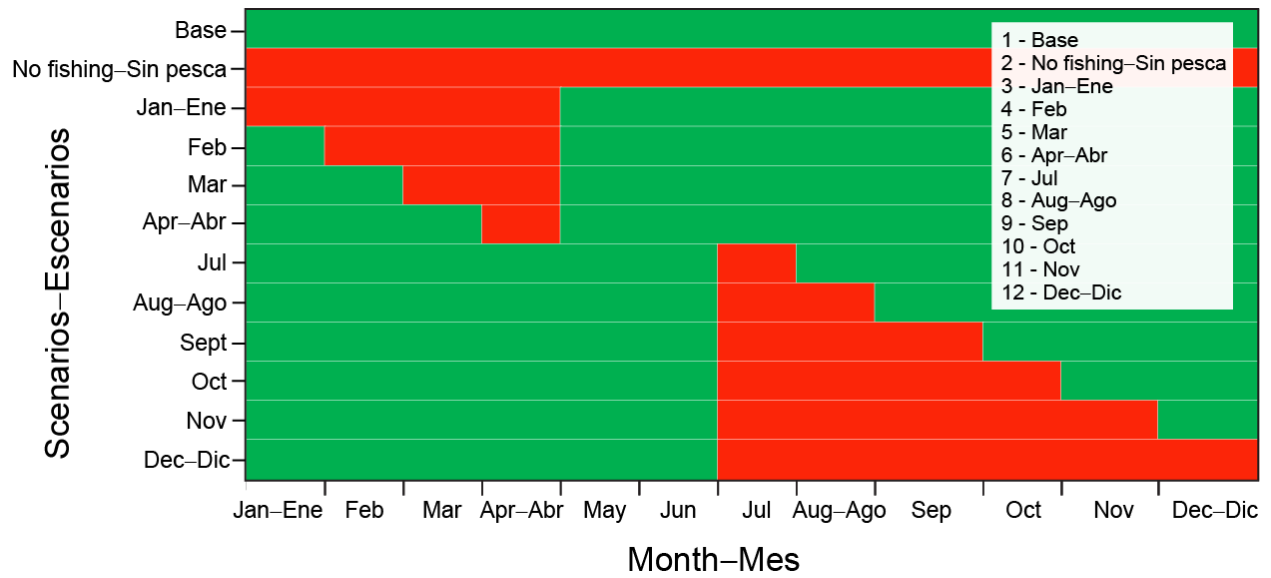


FIGURE 2. Scenarios based on alternative openings and closures of the fisheries; see text, Section 2.4. Red: closed to fishing; green: open to fishing.

FIGURA 2. Escenarios basados en fechas alternativas de apertura y cierre de las pesquerías; ver texto, sección 2.4. Rojo: cerrado a la pesca; verde: abierto a la pesca.

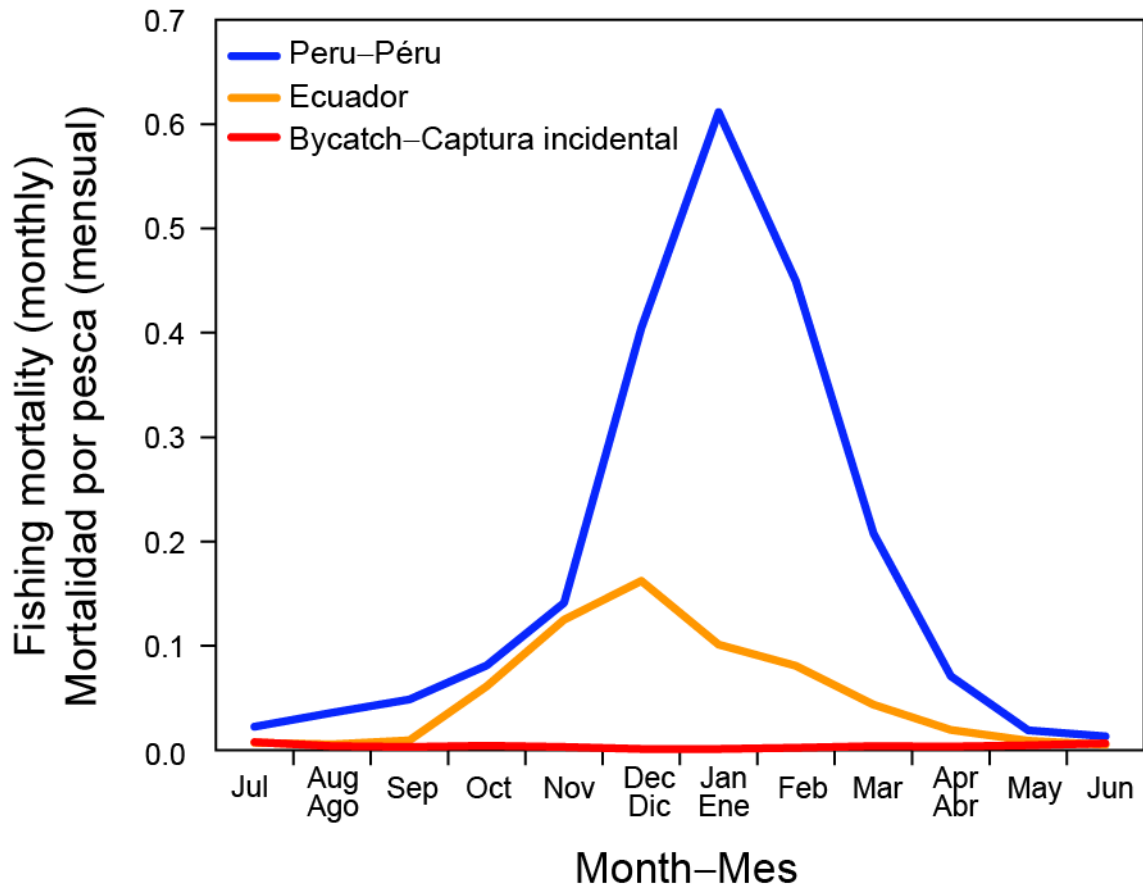


FIGURE 3. Monthly fishing mortality for each of the three fisheries modeled during the projection period.
FIGURA 3. Mortalidad por pesca mensual en cada una de las tres pesquerías modeladas en el periodo de proyección.

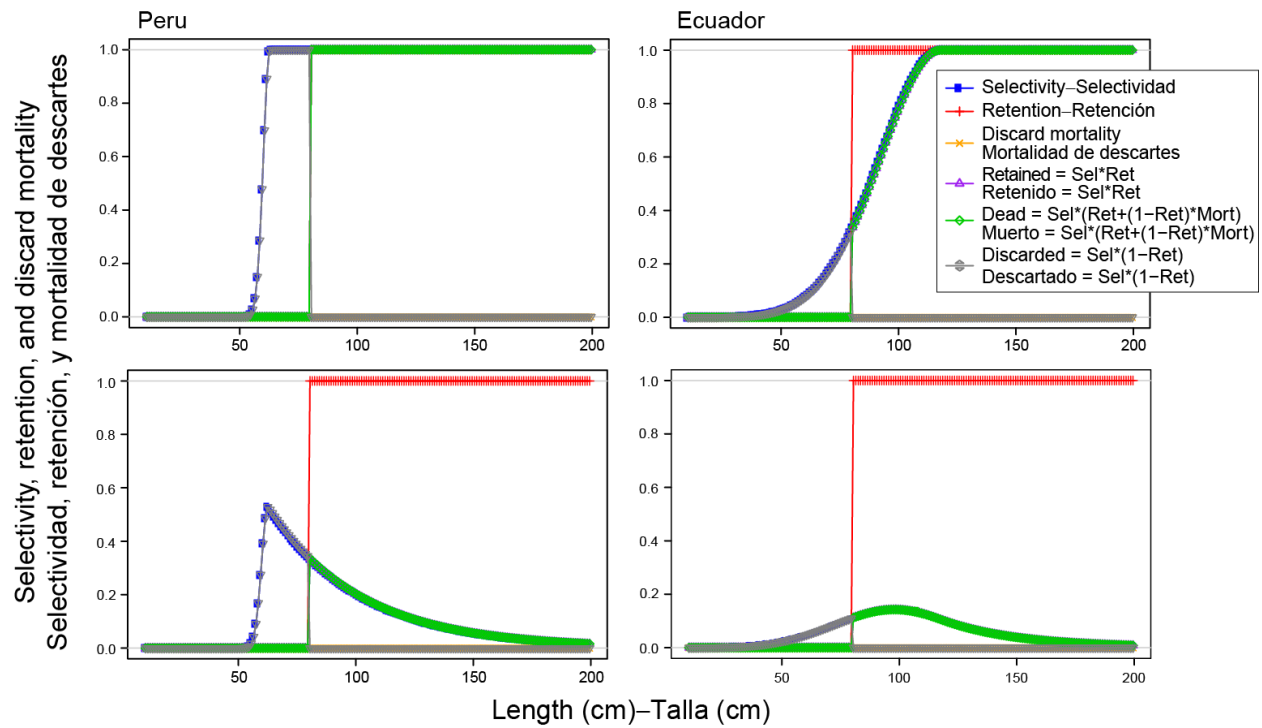


FIGURE 4. Selectivity, retention, and discard mortality curves for females (top panels) and males (bottom panels) in the fisheries of Peru (left panels) and Ecuador (right panels) corresponding to a minimum size limit of 80 cm.

FIGURA 4. Curvas de selectividad, retención, y mortalidad de descartes de hembras (paneles superiores) y machos (paneles inferiores) en las pesquerías de Perú (izquierda) y Ecuador (derecha) correspondientes a un límite de talla mínima de 80 cm.

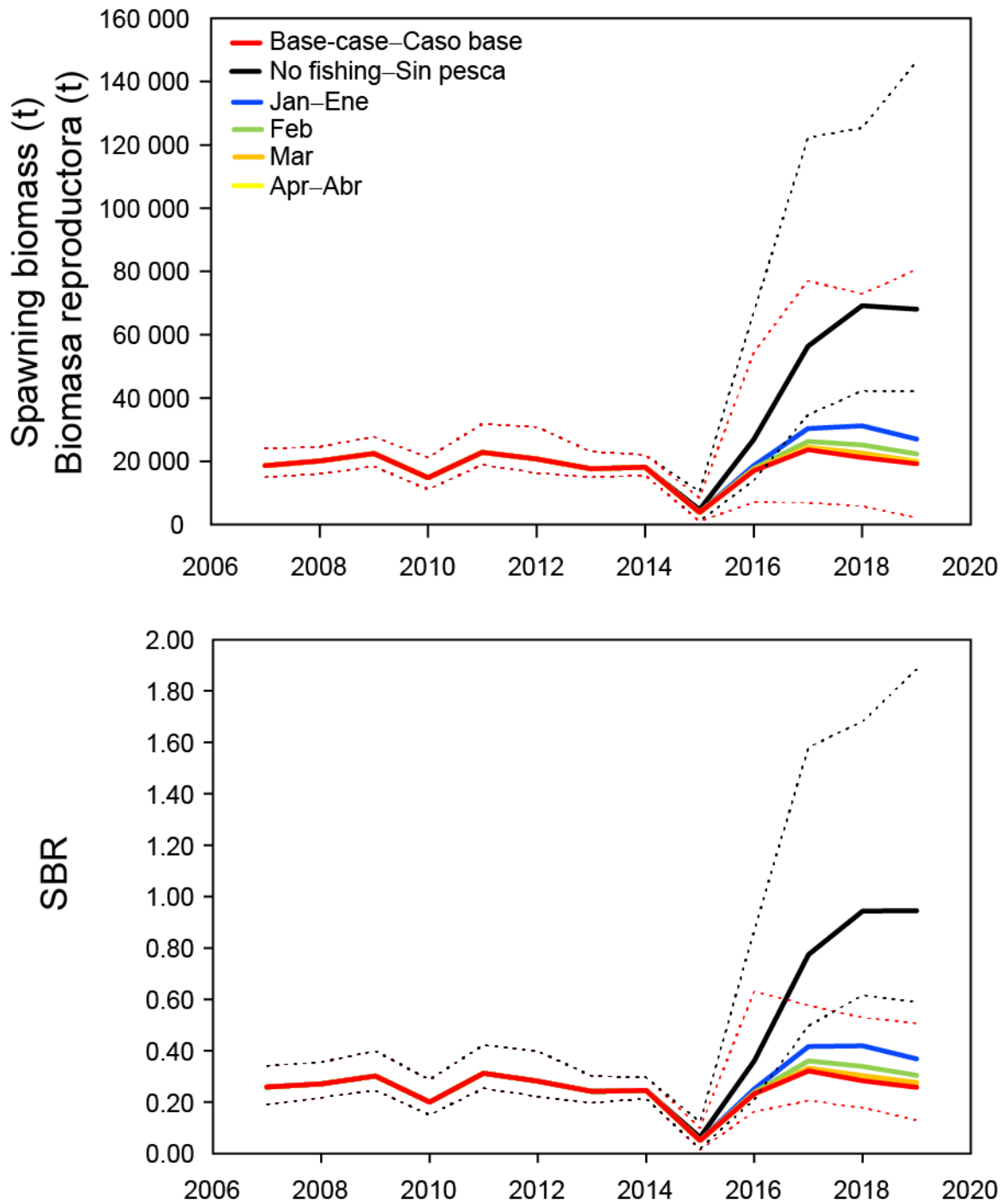


FIGURE 5. Projected spawning biomass, in tons (top panel), and SBR (see text; bottom panel) of dorado, 2015-2019, under six alternative scenarios (see Figure 2). The dotted lines represent the 95% confidence intervals.

FIGURA 5. Proyecciones de la biomasa reproductora, en toneladas (panel superior), y el SBR (ver texto; panel inferior) de dorado, 2015-2019, bajo seis escenarios alternativos (ver Figura 2). Las líneas de trazos representan los intervalos de confianza de 95%.

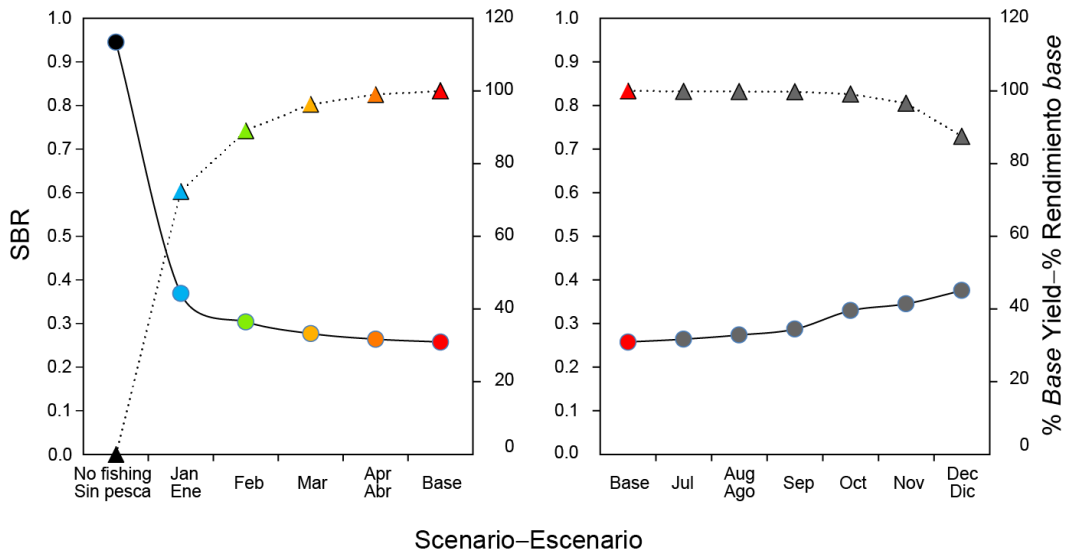


FIGURE 6. Predicted spawning biomass ratio (SBR, circles) in 2019, and total yield during 2015-2019 as a percentage of the *Base* scenario (triangles), under several alternative scenarios based on different fishery closing (left) and opening (right) dates.

FIGURA 6. Predicciones del cociente de biomasa reproductora (SBR, círculos) en 2019, y el rendimiento total durante 2015-2019 como porcentaje del escenario *Base* (triángulos), bajo varios escenarios alternativos basados en diferentes fechas de cierre (izquierda) y apertura (derecha) de la pesquería.

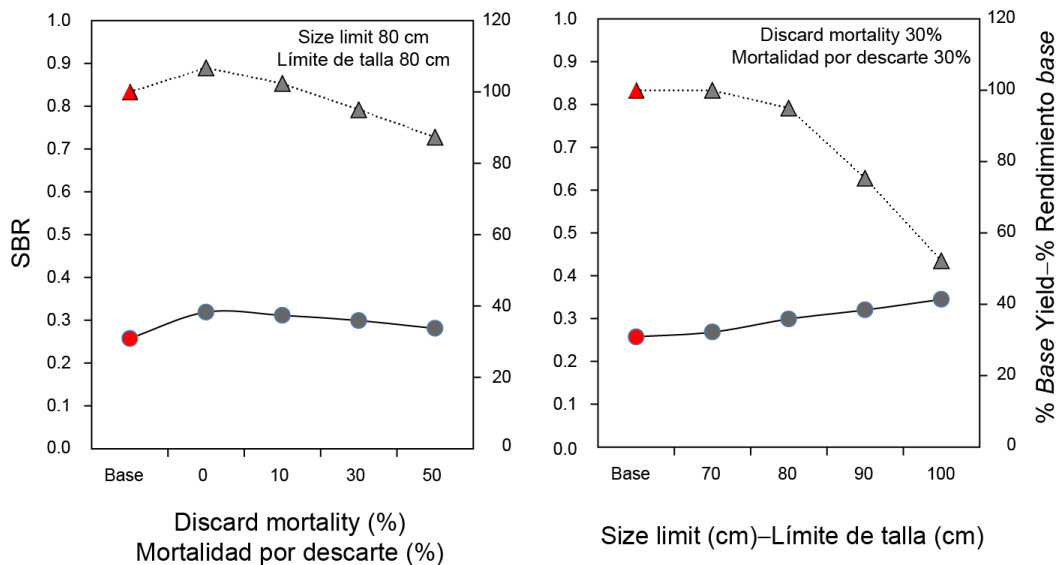


FIGURE 7. Predicted spawning biomass ratio (SBR, circles) in 2019, and total yield during 2015-2019 as a percentage of the *Base* scenario (triangles), based on a minimum size limit of 80 cm with discard mortalities between 0 and 50% (left panel) and a 30% discard mortality with alternative size limits between 70 and 100 cm (right panel).

FIGURA 7. Predicciones del cociente de biomasa reproductora (SBR, círculos) en 2019, y el rendimiento total durante 2015-2019 como porcentaje del escenario *Base* (triángulos), basadas en un límite de talla mínima de 80 cm con mortalidad de descartes de entre 0 y 50% (izquierda) y una mortalidad de descartes de 30% con límites de talla alternativos de entre 70 y 100 cm (derecha).

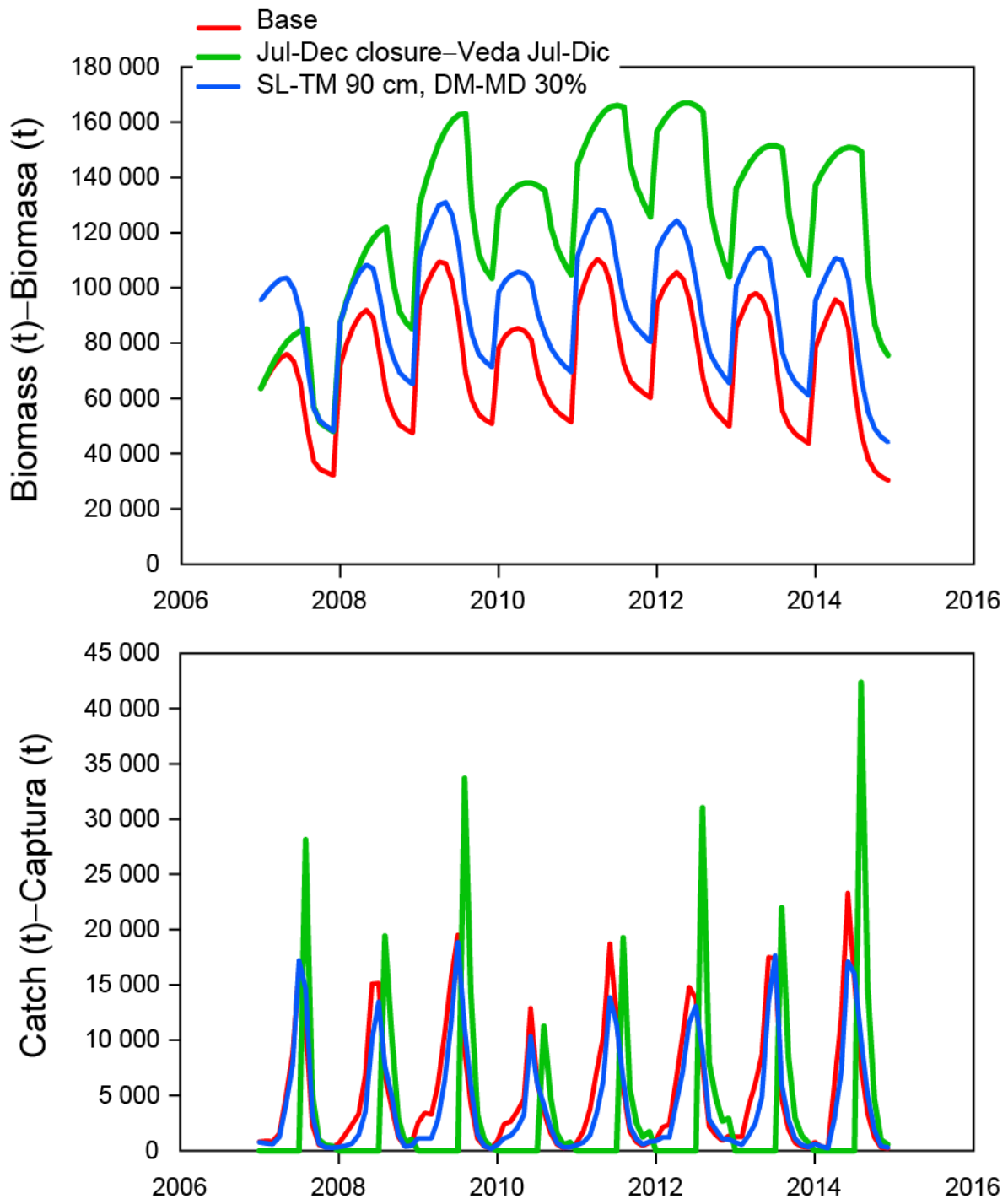


FIGURE 8. Simulated time series of monthly biomass (top) and catch (bottom) of dorado, in tons, from the retrospective model runs, from the *Base* scenario (red line), with a July-December closure (Scenario 12) (green line), and with a minimum size limit of 90 cm fork length and an assumed mortality rate of 30% for discarded fish < 90 cm (blue line).

FIGURA 8. Series de tiempo simuladas de biomasa mensual (arriba) y captura (abajo) de dorado, en toneladas, de las ejecuciones retrospectivas del modelo, del escenario *Base* (línea roja), con veda durante julio-diciembre (Escenario 12) (línea verde), y con un límite de talla mínima de 90 cm de talla furcal y una tasa de mortalidad supuesta de 30% de peces descartados de talla < 90 cm (línea azul).

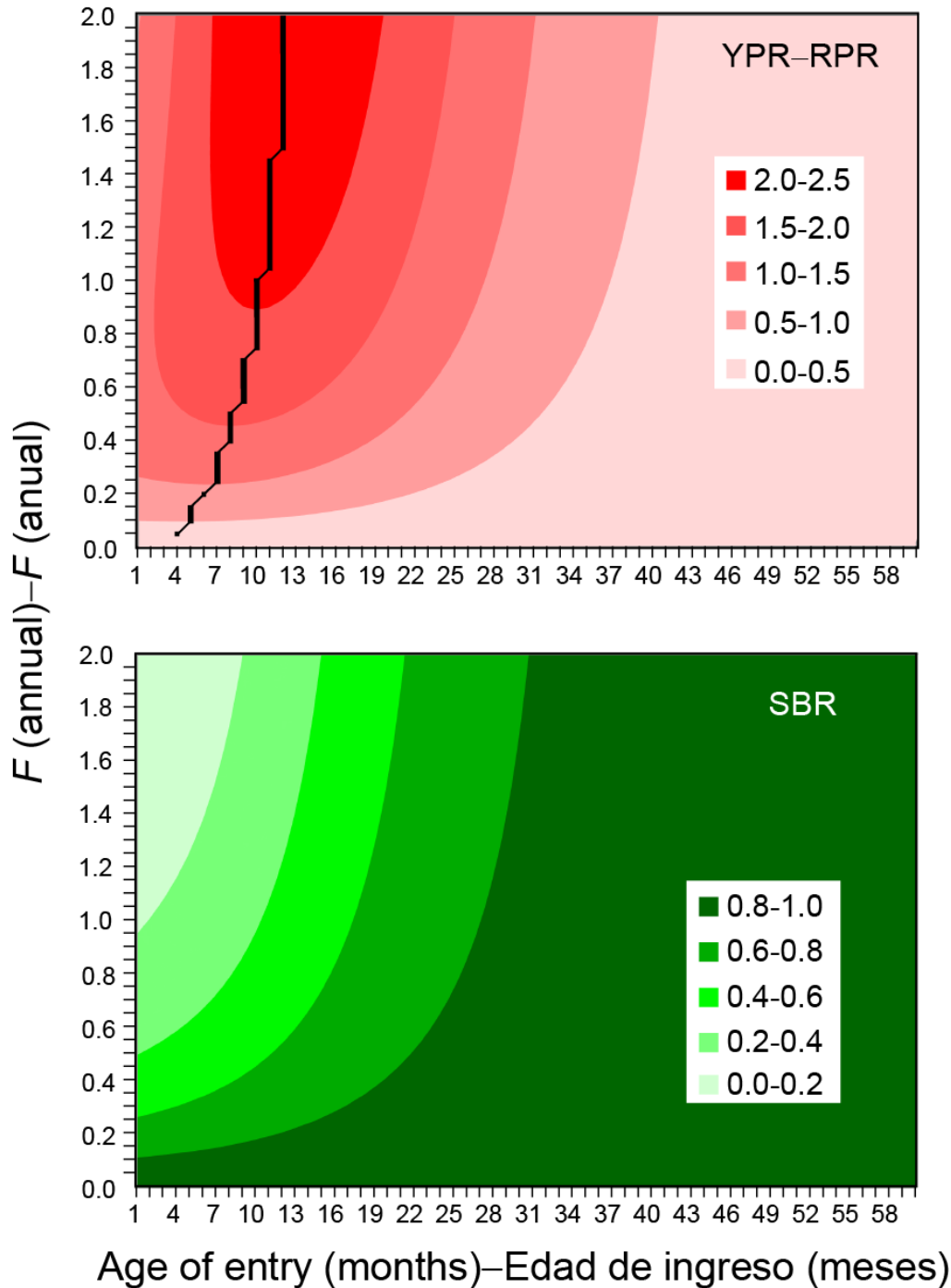


FIGURE 9. Yield per recruit (YPR, top panel) and spawning biomass ratio (SBR, bottom panel) as a function of age of entry to the fishery, in months, and annual fishing mortality (F). The black line in the YPR plot represents the age corresponding to the maximum YPR at each level of fishing mortality.

FIGURA 9. Rendimiento por recluta (RPR, panel superior) y cociente de biomasa reproductora (SBR, panel inferior) como función de edad de ingreso a la pesquería, en meses, y mortalidad por pesca anual (F). La línea negra en la gráfica de RPR representa la edad correspondiente al RPR máximo en cada nivel de mortalidad por pesca.